

Research Article / Araştırma Makalesi

Seyhan Baraj Gölünde Askıda Sedimentin Alansal Dağılımının ve Zamansal Değişiminin Uzaktan Algılama ile Belirlenmesi

Determination of Spatial Distribution and Temporal Variation of Suspended Sediment in Seyhan Dam Lake by Remote Sensing

Mehmet Ali AKGÜL^{1*} , Recep YURTAL² 

¹ DSİ 6. Bölge Müdürlüğü, Bilgi Teknolojileri Şube Müdürlüğü, Coğrafi Bilgi Sistemleri Başmühendisliği, Adana, Türkiye

² Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Hidrolik Anabilim Dalı, Adana, Türkiye

Received (Geliş): 7 Haziran (June) 2023 / Revised (Düzeltilme): 22 Temmuz (July) 2023/ Accepted (Kabul): 14 Ağustos (August) 2023

ÖZ

Küresel iklim değişikliği, sanayileşme, hızlı nüfus artışı ve benzeri sebepler ile tatlı suya ulaşmak gün geçtikçe zorlaşmaktadır. Tatlı suları korumak amacıyla sulak alanlar gibi doğal gölleri korumaya yönelik tedbirler alınmakta ayrıca akarsular üzerinde depolamalı su yapıları inşaa edilmektedir. Depolamalı su yapılarının planlanmasında, yapının ömrünü etkileyen en önemli faktör, su rezervuarına giren sedimentin tespit edilmesidir. Bu sediment baraj haznesinde birikerek kullanılabilir su miktarını düşürdüğü gibi yapının dip savak veya su alma yapısı gibi kritik yapılarını da kullanılmaz hale getirmektedir. Bu çalışmamızda uydu verileri ile yersel veriler arasında bir model oluşturularak üretilen, Toplam Askıda Sediment'e (TSS) ait parametreler ile Türkiye'nin güneyinde Adana il sınırları içerisinde yer alan Seyhan Baraj Gölüne ait Sentinel-2 uydu verileri kullanılarak, TSS'nin alansal dağılımı ve zamansal değişimi incelenmiştir. Tüm göl baz alındığında en yüksek TSS konsantrasyonu 26.03.2020 tarihinde 25.01 mg/L, en düşük değeri ise 23.01.2021 tarihinde 17.65 mg/L olarak bulunmuştur. Seyhan Baraj Gölünde uzaktan algılama tabanlı TSS izlenmesine yönelik kurulacak bir sisteme altlık olması açısından önceden bilinen uydu geçiş zamanlarında daha çok noktadan numune alınarak TSS parametrelerinin daha hassas belirlenmesi mümkün olabilecektir. Bu sayede belirli noktalardan örnek alınarak TSS değerleri yerine tüm göl yüzeyine ait TSS değerleri tespit edilebilecektir.

Anahtar Kelimeler: Uzaktan algılama, Sentinel-2, Askıda sedimentin zamansal değişimi

ABSTRACT

Access to clean water is becoming increasingly difficult as a result of global climate change, industrialization, fast population expansion, and other factors. To safeguard fresh waters, natural lakes such as wetlands are protected, and storage water structures are erected on streams. The most important aspect influencing the life of storage water structures is the determination of the sediment entering the water reservoir. This material builds in the dam reservoir, reducing the amount of usable water and rendering essential elements such as the bottom weir or water intake structure inoperable. The spatial distribution and temporal variation of TSS were investigated in this study by using the parameters of Total Suspended Sediment (TSS), which were produced by creating a model between satellite data and terrestrial data, and Sentinel-2 satellite data from Seyhan Dam Lake, which is located in the south of Turkey,

within the provincial borders of Adana. The maximum TSS concentration was determined to be 25.01 mg/L on 26.03.2020, with the lowest value being 17.65 mg/L on 23.01.2021. The TSS characteristics will be more precisely determined by samples from additional places at previously known satellite transit times, as a foundation for a system to be created for remote sensing-based TSS monitoring in the Seyhan Dam Lake. TSS values for the whole lake surface will be determined in this manner rather than TSS values for specific spots.

Keywords: Remote sensing, Sentinel-2, Temporal variation of suspended sediment

GİRİŞ

Küresel iklim değişikliği, sanayileşme, hızlı nüfus artışı ve benzeri sebepler ile tatlı suya ulaşmak gün geçtikçe zorlaşmaktadır. Bu problem sadece insanlar için değil bütün canlılar için de yaşamsal bir hale gelmiştir. Dünya yüzeyinin % 70'i suyla kaplı olmasına rağmen bu suyun % 96.54'lük miktarı okyanuslar ve denizlerde bulunmakta, tatlısu göllerinin miktarı ise toplam su miktarının sadece % 0.007'sine (yüzbinde yedi) karşılık gelmektedir (Shiklomanov, 1993).

Tatlı suları korumak için çözüm olarak sulak alanlar gibi doğal gölleri korumaya yönelik küresel ölçekte Ramsar Sözleşmesi vb. sözleşmeler ve protokoller bulunmakta, yerelde ise ülkeler kendi yasalarıyla bunu yapmaya çalışmaktadırlar (Matthews, 1993). Suni göllerinin sayısını arttırmak için akarsular üzerinde depolamalı su yapıları yapılmakta, bunların korunmasına yönelik çalışmaların başında ise secci disk derinliği, bulanıklık ve askıda sediment benzeri su kalitesi parametrelerinin izlenmesi gelmektedir.

Her gölden bu parametrelerin tespit edilmesi için numune almak hem masraflı hem de zaman alan bir süreç olduğundan gelişen uydu teknolojileri ile günümüzde uzaktan algılama yöntemleri de su kalitesi parametrelerinin tespitinde kullanılmaktadır.

Lübnan'da, Tripoli kıyı kaynaklarının yönetimine altlık olması için Landsat 7 uydusunu kullanarak bir çalışma yapan Kabbara vd. (2008) uydu geçiş zamanından 6 saat öncesi ve sonrası

olmak üzere denizden klorofil-a, secci disk derinliği ve bulanıklık değerlerini alarak bu değerlerin uydu verileri ile üretilen değerlerle arasındaki korelasyonu incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmalar sonucunda regresyon katsayılarını klorofil-a için 0.719 - 0.723, secci disk derinliği için 0.54 ve bulanıklık için ise 0.57 değerlerini bulmuşlardır.

Yüksek bulanıklık ve klorofil-a konsantrasyonuna sahip, Houtribdijk barajı rezervuarında bulunan Markermeer gölünde Vanhellemont vd. (2016) bir çalışma yapmışlardır. Kabbara vd. (2008)'nin çalışmasında kullandığı Landsat 7 uydusu yerine gelişen teknoloji ile birlikte yersel çözünürlüğü daha yüksek olan Sentinel-2A ve çalışma tarihinde en güncel Landsat uydusu olan Landsat 8 uydularını kullanılarak üretilen bulanıklık ve klorofil-a haritalarının uyumlu olduğu sonucuna varmışlardır.

Yunanistan'da bulunan 11 adet gölde, su kalitesi parametrelerinden klorofil-a, secci disk derinliği ve bulanıklığa ait yersel gözlem değerleri ile Landsat 8 uydu görüntülerinin analizi ile bulunan değerler arasında ilişkiyi inceleyen Kontopoulou vd. (2017) yer gözlem değerleri ile uydu verileri arasında en fazla 15 günlük zamansal fark olmasına rağmen regresyon katsayılarının klorofil-a için 0.75, bulanıklık için ise 0.70 olarak hesaplamışlardır. Yaptıkları çalışmada, Kabbara vd. (2008) ve Vanhellemont vd. (2016)'nin aksine bir çalışma alanından ziyade 11 farklı gölde bu çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir.

Filipinler’de bulunan 900 km²’lik alana sahip Laguna gölünde, Ticman vd. (2018) yaptıkları çalışmada Landsat 8 uydusunun bulanıklık ve klorofil-a değerlerini tahmin etmede başarılı olduğunu kanıtlamışlardır. Çalışmada elde edilen sonuçlar, uydu görüntüleri ile birlikte yersel ölçümler kullanılarak göl gözlemi için su kalitesi modellerinin geliştirilmesinde temel olarak kullanılabilirliğini belirtmişlerdir.

İtalya’nın Alpler bölgesinde bulunan en büyük beş gölünde su kalitesi parametrelerini tahmin edebilmek için Sentinel-2A ve Landsat 8 uydu verilerinden yararlanan Bresciani vd. (2018) çalışmaları sonucunda uydu verilerinin göllerin izlenmesi açısından değerli bir araç olduğunu belirtmişlerdir.

Akgül vd. (2019) Türkiye’nin güneybatısında yer alan, ülkenin 16 Özel Çevre Koruma Bölgesinden biri olan Köyceğiz-Dalyan’da su kirliliği parametrelerinin mekansal boyutunu belirlemek için bir çalışma gerçekleştirmiştir. Gölden elde edilen yerinde verilerle, Kabbara vd. (2008) Landsat 8 uydu verilerinin parametrelerini uygulayarak bulunan klorofil-a, secci disk derinliği ve bulanıklık değerleri arasında bir model kurmuştur. Bu modelin belirginlik katsayıları klorofil-a, secci disk derinliği ve bulanıklık için 31.05.2017 tarihli görüntü kullanılarak 0.7225, 0.1412 ve 0.0008, 20.09.2018 tarihli görüntü kullanılarak 0.8103, 0.8416 ve 0.7944 olarak bulunmuştur. Örneklem tarihi ile uydu görüntüsünün tarihi birbirine yakın olduğunda istatistiksel sonuçların daha yüksek olduğu sonucuna varmışlardır.

Sòria-Perpinyà vd. (2021) İspanya’daki 2 göl ve 50 rezervuardan toplam 296 yerinde veri kullanarak bir çalışma yürütmüştür. Sentinel-2 ve Sentinel-3 uydu verilerini kullanarak, TSS dahil olmak üzere beş farklı su kirliliği parametresini tahmin eden algoritmalar

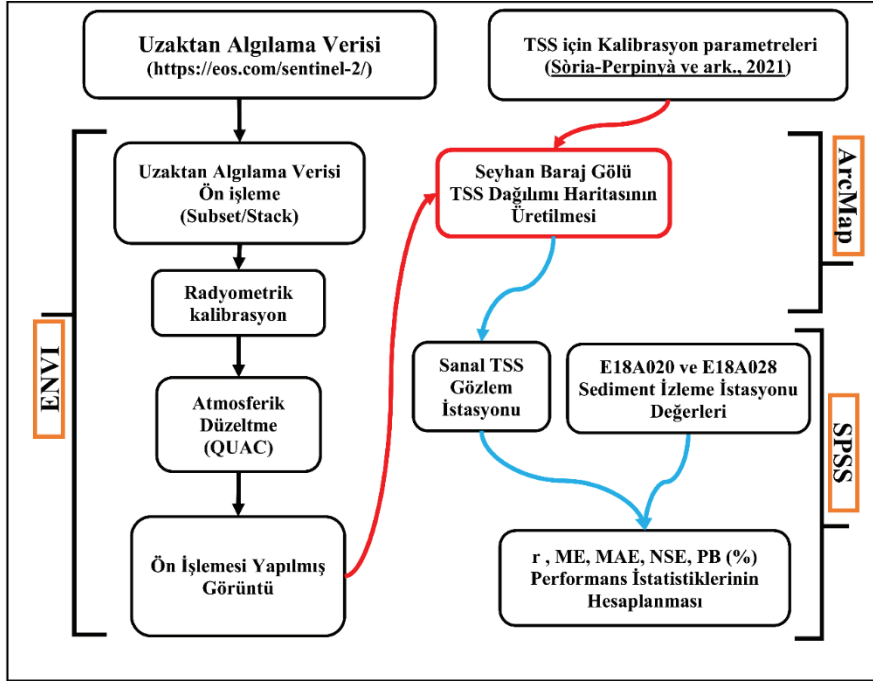
geliştirmişlerdir. Yaptıkları bu çalışmada diğer çalışmalarda kullanılan Landsat 7, Landsat 8 ve Sentinel-2 uyduları yerine Sentinel-3 uydusunu da kullanmışlardır.

Zhan vd. (2022) güneydoğu İspanya’nın Murcia bölgesindeki Mar Menor’un 14.527 hektarlık kıyı lagününde yaptıkları çalışmada Sentinel-2 uydu görüntülerini kullanmışlardır. Bu çalışmanın sonunda, lagünden alınan 12 örnek ile uydu görüntüsü arasında klorofil-a konsantrasyonu ve bulanıklık için ayrı bir metodoloji önermişlerdir. Önerilen metodolojinin RMSE değerlerini, klorofil-a konsantrasyonu için 2,6 mg/m³ ve bulanıklık için 1,5 NTU olarak bulmuşlardır.

Dünya’da birçok örneği olan su kalitesi parametrelerinin uzaktan algılama yöntemleri ile tespit edilmesi çalışmalarının Sentinel-2 uydu verileri kullanılarak Seyhan Baraj Gölünde de uygulanabilirliği araştırılmıştır. Bu çalışmamız da uzaktan algılama ile su kalitesi parametrelerinin tespitinde en sık başvurulan, bir uydu verisin de birden fazla nokta kullanılarak modellenmesi yerine aynı noktanın farklı zamanlardaki görüntüleri kullanılarak modellenmiştir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Uydu verileri <https://eos.com/sentinel-2/> sitesinden temin edilmiş, ön işlem adımları ENVI görüntü işleme yazılımında gerçekleştirilmiştir. Ön işlem yapılmış görüntülere Sòria-Perpinyà vd. (2021) tarafından bulunmuş formülün uygulanması ile baraj rezervuarında sediment konsantrasyon değerleri hesaplanmıştır. Yersel veri olarak AGİ’de ölçülen konsantrasyon değerleri kullanılmış olup uydu verisi ile hesaplanan konsantrasyon değerleri aralarındaki ilişki istatistiksel olarak incelenmiştir. Yapılan bu çalışmanın akış şeması Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Çalışmanın akış şeması.

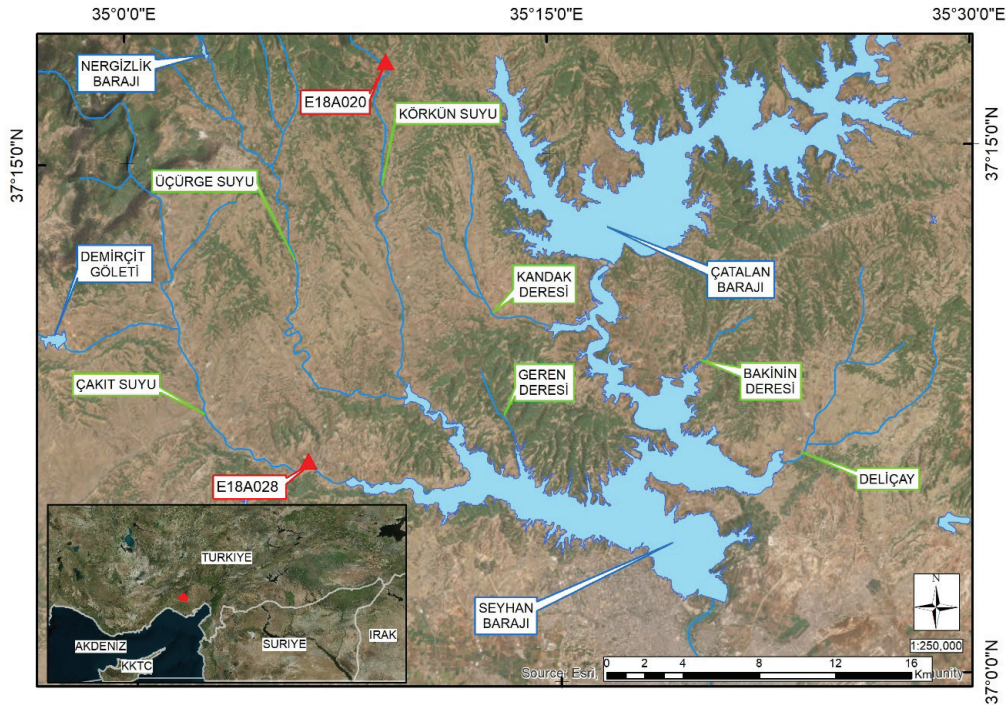
Figure 1. Flow chart of the study.

İnceleme alanı

Çalışma alanı olarak seçilen Seyhan Baraj Gölü, Türkiye'nin güneyinde, Seyhan Nehri üzerinde olup 1956 yılında hizmeti açılmıştır. Sulama, enerji ve taşkın koruma amaçlı yapılan baraj, Aşağı Seyhan Ovası sulamasının en önemli su kaynağıdır (DSİ, 2014). Baraj rezervuarına gelen sedimentin belirlenmesi için baraj havzasında kurulan ve akım gözlemi yanında sediment gözlemi de yapılan Akım Gözlem İstasyonlarının (AGİ) konumları Şekil 2'de verilmiştir.

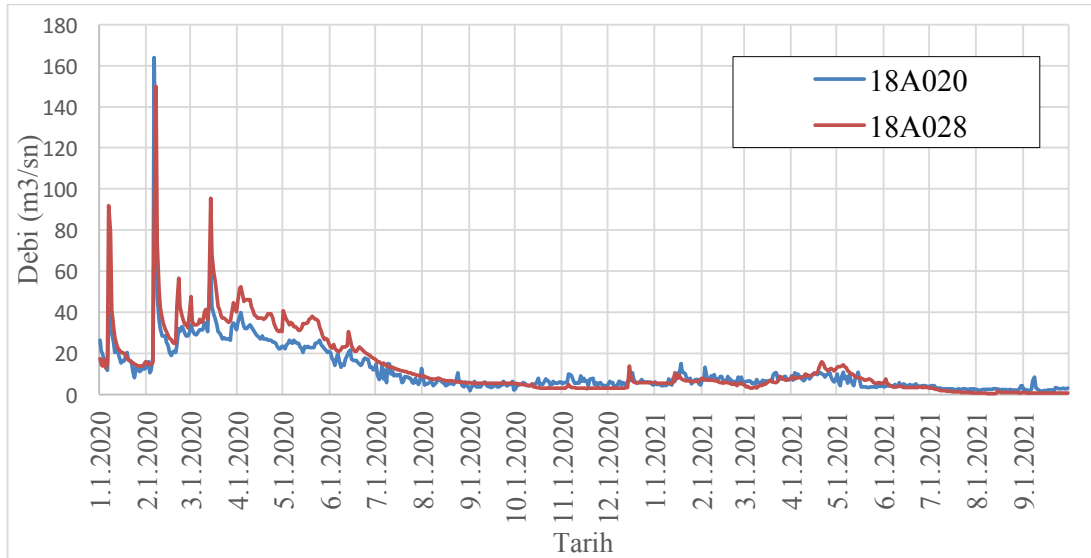
Materyal

Çalışmada Toplam Askıda Sediment (TSS) verisi olarak Körkün Çayı üzerinde bulunan E18A020 ve Çakıt Çayı üzerinde bulunan E18A028 numaralı AGİ verileri kullanılmış olup bu istasyonlara ait 01.01.2020-01.10.2021 tarihleri arasındaki akımlar Şekil 3'de verilmiştir. Ayrıca bu istasyonlarda ölçülen akım debileri ile sediment konsantrasyonları arasındaki ilişkiyi tarif eden sediment anahtar eğrileri Şekil 4'de gösterilmiştir. Çalışmada kullanılan uydu görüntüleri tarihlerinde sediment örneği alınmadığı gibi iki istasyon içinde örnek tarihleri aynı güne denk gelmemektedir. Bunun için baraj gölüne giren sediment değerleri AGİ'lerden alınan debi değerleri ile sediment anahtar eğrileri yardımıyla hesaplanmıştır.



Şekil 2. Çalışma alanı.

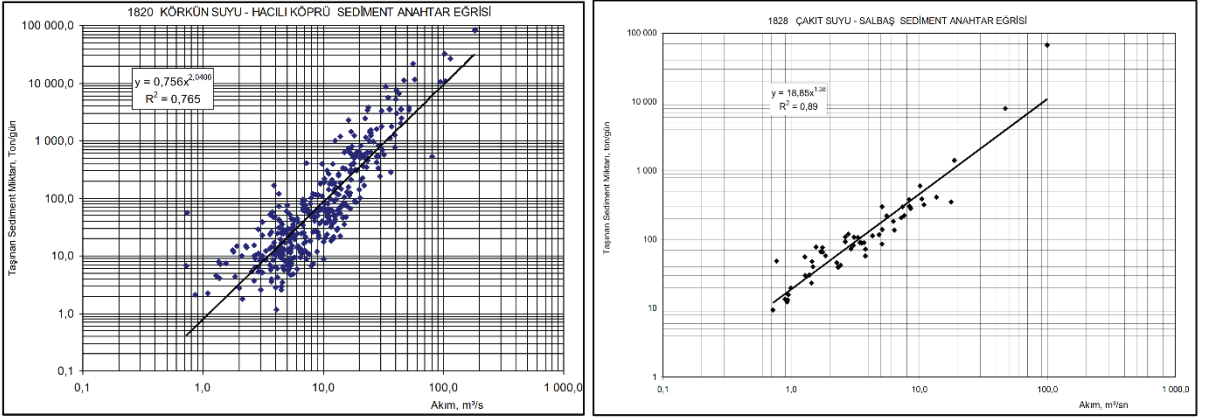
Figure 2. Study area.



Şekil 3. E18A020 ve E18A028 istasyonlarının Akım Gözlem Değerleri.

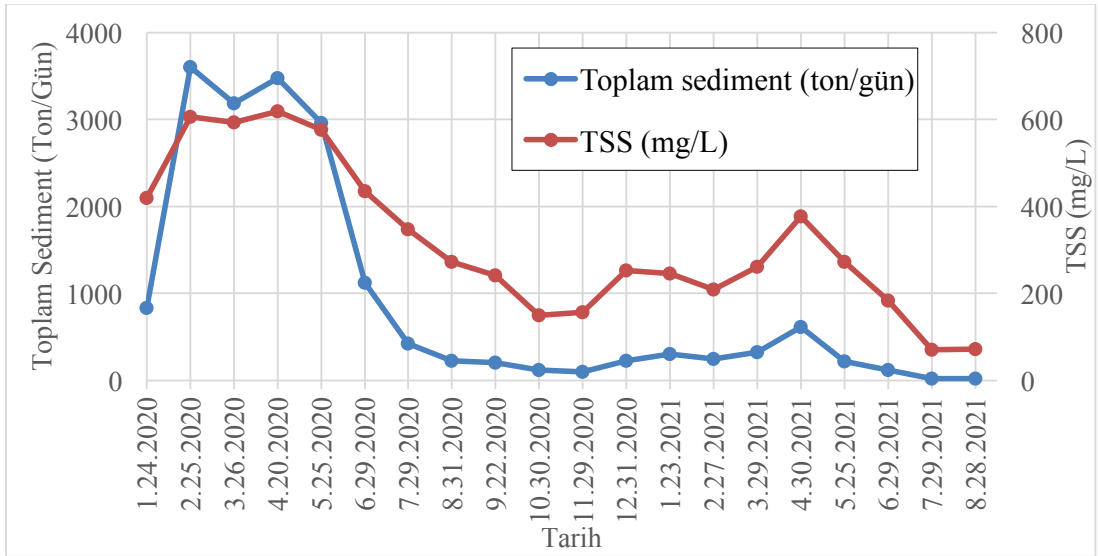
Figure 3. Flow Observation Values of E18A020 and E18A028 stations.

Akgül, Yurtal



Şekil 4. E18A020 ve E18A028 AGİ sediment anahtar eğrisi (DSİ, 2014).

Figure 4. E18A020 and E18A028 AGI sediment key curve (DSİ, 2014).



Şekil 5. Toplam Sediment ve Ortalama konsantrasyon değerleri.

Figure 5. Total Sediment and Average Concentration Values.

Toplam sediment miktarı ve ortalama konsantrasyon değerleri uydu görüntülerinin olduğu tarihler için hesaplanmıştır (Şekil 5).

Çalışmada uzaktan algılama verisi olarak kullanılan Sentinel-2A ve Sentinel-2B uyduları Avrupa Komisyonu'nun Kopernik programı

kapsamında sırasıyla 23 Haziran 2015 ve 7 Mart 2017 tarihlerinde fırlatılmıştır. Sentinel-2 verileri, Avrupa Komisyonu (EC) ve Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından ortaklaşa yürütülen GMES (Global Monitoring for Environment and Safety) programı kapsamında arazi yönetimi, tarımsal üretim, ormancılık, doğal afet izleme ve insani

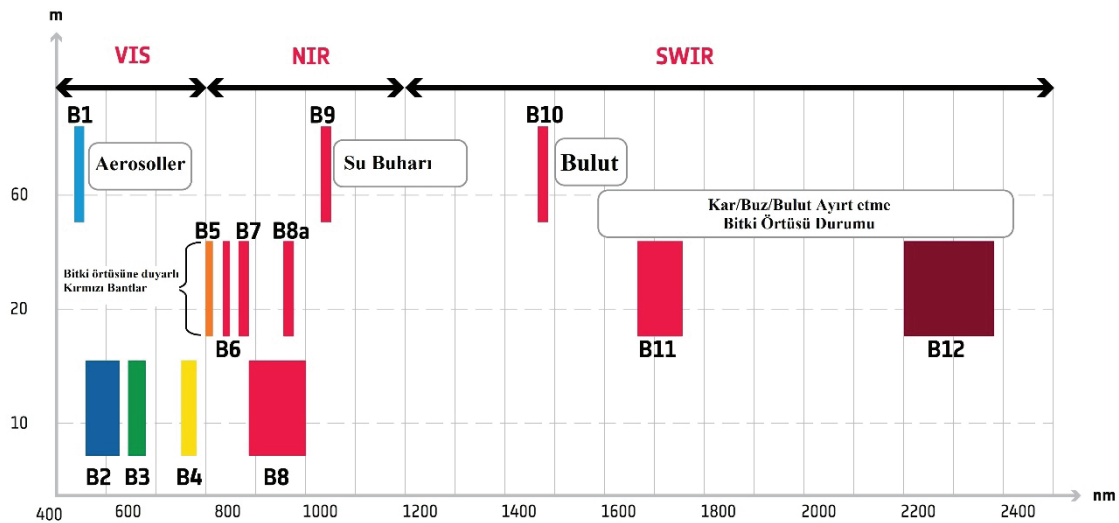
yardım benzeri çalışmalarda kullanılmaktadır (EOS, 2019). Uydu, atmosferik görüntüleme kalitesini etkilemeden zamansal değişiklikler de dahil olmak üzere bitki örtüsü durumundaki farklılıkları tespit edebilecek kapasiteye sahip 13 spektral bantta 10 ila 60 m çözünürlüğe

sahip görünür yakın kızılötesi (VNIR) ve kısa dalga kızılötesi (SWIR) spektral bölgelerinde ölçüm yapan bir opto-elektronik multispektral sensor ile donatılmıştır. Çizelge 1 uydunun bant özelliklerini, Şekil 6 ise algılayıcının dalga boyları ve çözünürlüğünü göstermektedir.

Çizelge 1. Sentinel-2 uydu görüntüleri bant özellikleri (ESA, 2015).

Table 1. Sentinel-2 satellite image band characteristics (ESA, 2015).

Bantlar	Bant Adı	Dalga Boyu(nm)	Bant genişliği (nm)	Çözünürlük (m)
1	Kıyılar Aerosolü	443	20	60
2	Mavi	490	65	10
3	Yeşil	560	35	10
4	Kırmızı	665	30	10
5	Vejetasyon Kırmızı Kenar	705	15	20
6	Vejetasyon Kırmızı Kenar	740	15	20
7	Vejetasyon Kırmızı Kenar	783	20	20
8	NIR (Yakın Kızıl Ötesi)	842	115	10
8b	Narrow NIR (Daraltılmış Yakın Kızıl Ötesi)	865	20	20
9	Su Buharı	945	20	60
10	SWIR–Cirrus	1375	30	60
11	SWIR 1	1610	90	20
12	SWIR 2	2190	180	20



Şekil 6. Sentinel-2 uydusu dalga boyları ve çözünürlük grafiği (Sentinel-2 Team, 2015).

Figure 6. Sentinel-2 satellite wavelengths and resolution graph (Sentinel-2 Team, 2015).

Akgül, Yurtal

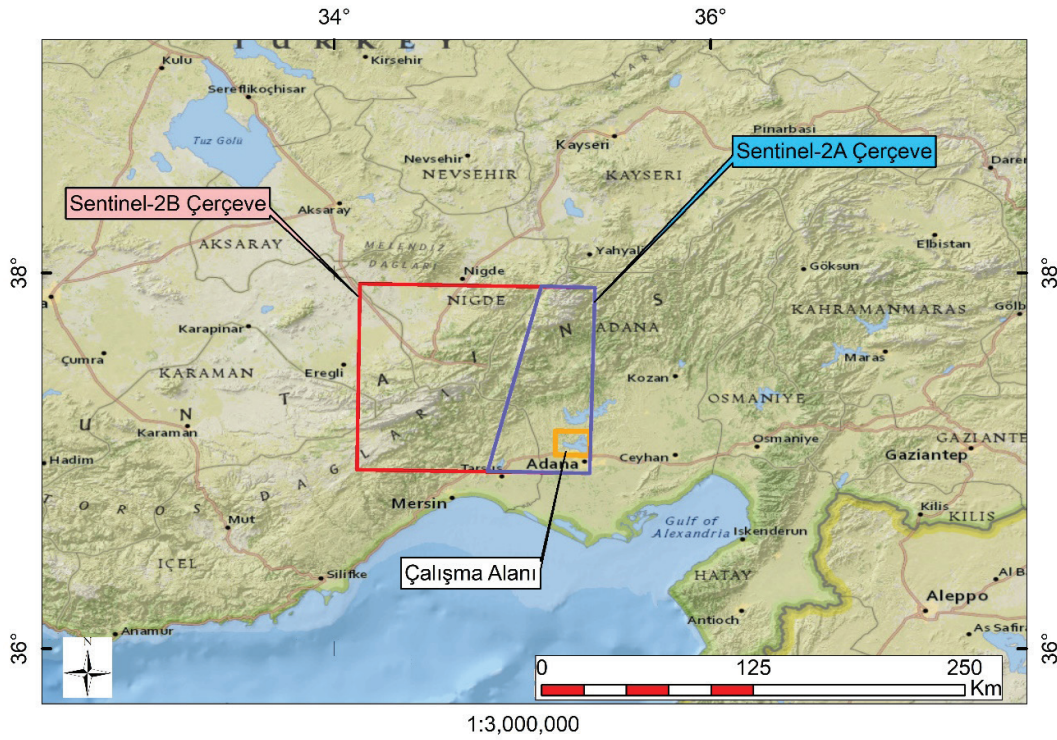
Sentinel-2 uydusunun ortalama yörünge yüksekliği 786 km olup, görevde iki uydunun bulunması ekvatorda 5 günde bir, orta enlemlerde ise 2-3 günde bir görüntü almaya olanak sağlamaktadır (EOS, 2019). Sentinel-2 uydu verileri, Seviye-0, Seviye-1A, Seviye-2B, Seviye-1C ve Seviye-2 olmak üzere beş farklı işleme seviyesinde sunulmaktadır. Bu çalışmada Seviye-1C'deki Sentinel-2 uydu

verilerinden yararlanılmış olup, "Seviye-1C" seviyesindeki uydu görüntüleri TOA (Top Of Atmosphere) yöntemi kullanılarak radyometrik olarak kalibre edilir (ESA, 2015). Sentinel-2 uydu veri arşivinde, çalışma alanının bulutsuzluk durumu da göz önüne alınarak yapılan tarama sonucunda uygun görülen T36SXG grid numaralı görüntülerin adı *Çizelge 2*'de, konumu ise *Şekil 7*'da gösterilmektedir.

Çizelge 2. Çalışmada kullanılan Sentinel-2 görüntülerinin adı ve tarihleri.

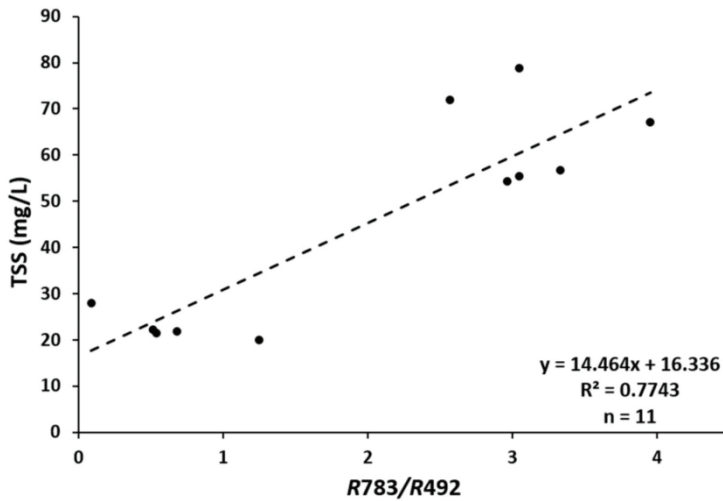
Table 2. Names and dates of Sentinel-2 images used in the study.

Görüntü Adı	Tarihi
S2B_MSIL1C_20200124T083139_N0208_R021_T36SXG_20200124T103035	24.01.2020
S2A_MSIL1C_20200225T081921_N0209_R121_T36SXG_20200225T091712	25.02.2020
S2A_MSIL1C_20200326T081601_N0209_R121_T36SXG_20200326T102055	26.03.2020
S2B_MSIL1C_20200420T081559_N0209_R121_T36SXG_20200420T104826	20.04.2020
S2A_MSIL1C_20200525T081611_N0209_R121_T36SXG_20200525T102022	25.05.2020
S2B_MSIL1C_20200629T081609_N0209_R121_T36SXG_20200629T103646	29.06.2020
S2B_MSIL1C_20200729T081609_N0209_R121_T36SXG_20200729T111503	29.07.2020
S2B_MSIL1C_20200831T082609_N0209_R021_T36SXG_20200831T112959	31.08.2020
S2A_MSIL1C_20200922T081641_N0209_R121_T36SXG_20200922T091933	22.09.2020
S2B_MSIL1C_20201030T083059_N0209_R021_T36SXG_20201030T095033	30.10.2020
S2B_MSIL1C_20201129T083309_N0209_R021_T36SXG_20201129T094455	29.11.2020
S2A_MSIL1C_20201231T082341_N0209_R121_T36SXG_20201231T100300	31.12.2020
S2A_MSIL1C_20210123T083241_N0209_R021_T36SXG_20210123T100222	23.01.2021
S2B_MSIL1C_20210227T082809_N0209_R021_T36SXG_20210227T104027	27.02.2021
S2B_MSIL1C_20210329T082559_N0209_R021_T36SXG_20210329T103749	29.03.2021
S2A_MSIL1C_20210430T081601_N0300_R121_T36SXG_20210430T095130	30.04.2021
S2B_MSIL1C_20210525T081609_N0300_R121_T36SXG_20210525T093214	25.05.2021
S2A_MSIL1C_20210629T081611_N0300_R121_T36SXG_20210629T095218	29.06.2021
S2A_MSIL1C_20210729T081611_N0301_R121_T36SXG_20210801T134248	29.07.2021
S2A_MSIL1C_20210828T081611_N0301_R121_T36SXG_20210828T093341	28.08.2021



Şekil 7. Çalışmada kullanılan Sentinel-2 uydu görüntüsü çerçeveleri.

Figure 7. Sentinel-2 satellite image frames used in the study.



Şekil 8. Çalışmada kullanılan TSS formülünün kalibrasyon grafiği (Sòria-Perpinyà vd., 2021).

Figure 8. Calibration chart of the TSS formula used in the study (Sòria-Perpinyà et al., 2021).

Yöntem

Sentinel-2 uydusundan alınan veriler <https://eos.com/sentinel-2/> adresinden alınmıştır. Uydu görüntülerinin kullanılması için gereken radyometrik ayarlamaların belirlenmesinde ENVI görüntü işleme yazılımı kullanılmıştır (Canty, 2014). Radyometrik olarak düzeltilmiş uydu resimlerinin atmosferik ayarlamaları, aynı pakette bulunan Quick Atmospheric Correction (QUAC) modülü kullanılarak yapılmıştır. Bu modül, Spectral Sciences Inc. tarafından Amerika Birleşik Devletleri Hava Kuvvetleri Araştırma Laboratuvarı ile ortaklaşa oluşturulmuştur (Bernstein vd., 2005).

Uydu görüntülerinin radyometrik ve atmosferik düzeltmeleri yapıldıktan sonra Sòria-Perpinyà vd. (2021) tarafından bulunmuş olan ve grafiği Şekil 8’de verilen formül 1 yardımıyla TSS değerleri hesaplanmıştır.

$$TSS = 14.464 * \left(\frac{B7}{B2}\right) + 16.336 \quad (1)$$

Formülde verilen B2 ve B7 değerleri Çizelge 1’de verilen Sentinel-2 uydusunun aynı numaralı bantlarını göstermektedir. Yersel çözünürlüğü 20 m olan B7 bandının 10 m çözünürlüğe sahip B2 bandına bölünmesinden dolayı TSS değerlerinin yersel çözünürlüğü 10 m olarak hesaplanmaktadır.

Korelasyon verileri, Pearson korelasyon katsayısı (r), ortalama hata (ME), ortalama mutlak hata (MAE), Nash-Sutcliffe etkinlik katsayısı (NSE), yüzde sapma (PB) ve belirginlik katsayısı (R^2) karşılaştırmalı istatistikleri kullanılarak analiz edilmiştir. Bu istatistiklerin hesaplanmasında Huizingh (2007) tarafından belirtildiği gibi SPSS programı kullanılmıştır.

Pearson korelasyon katsayısı (r), gözlenen ve tahmin edilen değerler arasındaki ilişkinin

derecesini ölçer ve -1 ile 1 arasında değişir. Bu değer sifıra yaklaştığında, hiçbir ilişkinin olmadığını gösterir. Gösterge ölçümleriyle karşılaştırıldığında, ME istatistiği fazla tahmini (pozitif) veya eksik tahmini (negatif) saptar. MAE istatistiği, mutlak hatanın ortalama büyüklüğünü ölçer. -∞ ile 1 arasında değerler alır. NSE istatistiği, gözlenen değerlerin varyansına kıyasla kalıntıların varyansının görece büyüklüğünü belirler. NSE değerinin “1” olması mükemmel bir eşleşmeyi ifade ederken, negatif değerler zayıf bir ilişkiyi gösterir (Nash & Sutcliffe, 1970). PB istatistiği, tahmin edilen ve gözlem verileri arasındaki eğilimi hesaplar. PB değeri sifıra ne kadar yakınsa, tahmin ve gözlem verileri arasındaki bağlantı o kadar güçlüdür. Pozitif sayılar modelin eksik tahmin ettiğini, negatif değerler ise modelin fazla tahmin ettiğini gösterir (Gupta vd., 1999). Pearson korelasyon katsayısı r’nin karesi belirginlik katsayısıdır (R^2) ve 0 ile 1 arasında değerler alır. Aldığı değer “1”e ne kadar yakınsa gözlenen ve beklenen değerler arasındaki ilişki o kadar güçlüdür. R^2 ve r istatistiklerinin aldığı değerler 0.5’den büyük ise model kabul edilebilir demektir (Van Liew vd., 2003).

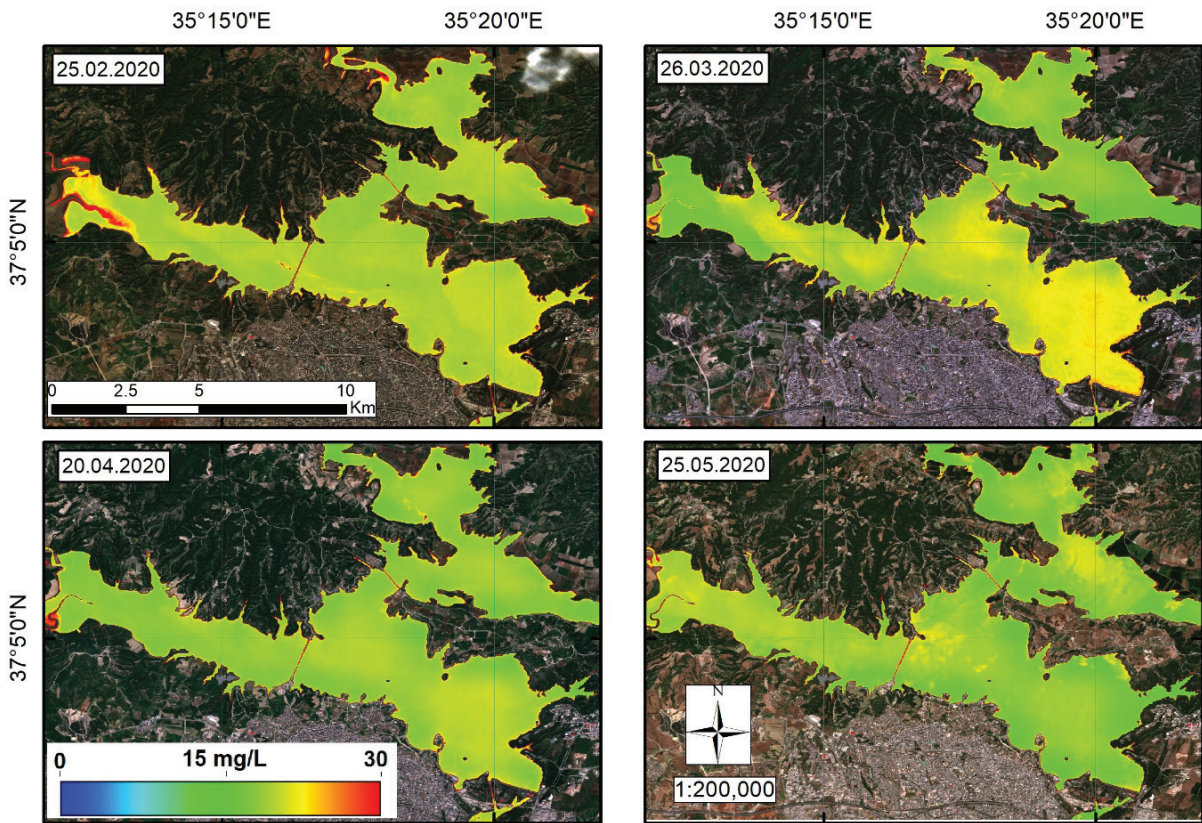
BULGULAR VE TARTIŞMA

Sentinel-2 uydu verileri ve Sòria-Perpinyà vd. (2021) tarafından bulunan formül 1’de verilen TSS formülü ile Seyhan Baraj Gölünün TSS dağılım haritaları ArcMap programı yardımıyla üretilmiştir (ESRI, 2011). Şekil 5’de verilen grafikten de görüleceği üzere baraj rezervuarına sediment girişinin en yüksek olduğu 25.02.2020, 26.03.2020, 20.04.2020 ve 25.05.2020 tarihli TSS dağılım haritaları Şekil 9’da verilmektedir. Özellikle ana kol olan Seyhan nehrinde bulunan Çatalan barajından dolayı sediment girişi görünmese de rezervuarın batıdan giriş

yapan Deliçay deresinden sediment girişi görülmektedir. Üzerinde herhangi bir depolamalı su yapısı bulunmayan Deliçay deresinde ayrıca sediment izleme istasyonu da bulunmamaktadır. Bu çalışmanın asıl amacı da ölçülmeveyen veya ölçülemeyen derelerinde getirdiği sedimentin belirlenebilmesidir. Rezervuara asıl sediment girişinin olduğu Körkün ve Çakıt derelerindeki sediment girişi açık bir şekilde görülmekte olup Çakıt kolundan daha fazla sediment giriş olduğu görülmektedir.

20 adet uydu görüntüsünün tamamına ait TSS dağılım haritaları üretilmiş olup piksellerin

ortalama, en az, en fazla ve standart sapma değerleri Çizelge 3’de verilmiştir. Ortalamalarda en yüksek değer 26.03.2020 tarihine ait olan 25.01 mg/L, en az değer 23.01.2021 tarihine ait 16.74 mg/L olarak tespit edilmiştir. En yüksek değerlerde 28.08.2021 tarihinde 35.90 mg/L değeri öne çıkmakta olup en az değerlerde ise 24.01.2020 tarihi için bulunan 16.34 mg/L değeri hesaplanan en az değer olmuştur. Çizelge 3’de verilen standart sapma değerlerinden anlaşılacağı üzere en az değeri alan 23.01.2021 tarihli harita sediment dağılımı açısından en homojen harita olmakta iken en yüksek değeri alan 28.08.2021 tarihli harita en heterojen harita olmuştur.



Şekil 9. 25.02.2020, 26.03.2020, 20.04.2020 ve 25.05.2020 tarihli askıda sediment dağılım haritası.

Figure 9. Suspended sediment distribution maps dated 25.02.2020, 26.03.2020, 20.04.2020 and 25.05.2020.

Akgül, Yurtal

Çizelge 3. Seyhan Baraj Gölü TSS değerleri (mg/L).

Table 3. Seyhan Dam Lake TSS values (mg/L).

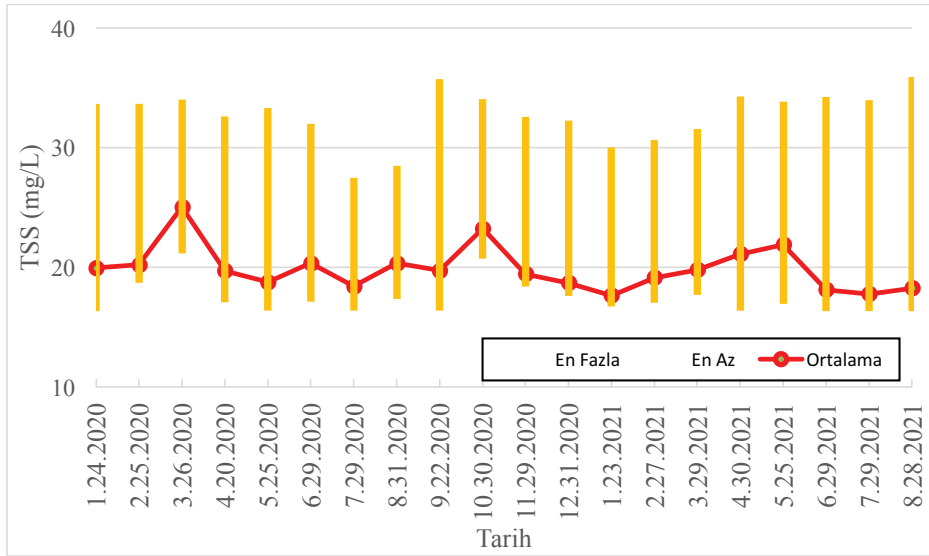
Tarih	En		Ortalama	Std. Sapma
	En Az	Fazla		
24.01.2020	16.34	33.63	19.93	1.36
25.02.2020	18.69	33.65	20.21	1.01
26.03.2020	21.16	33.99	25.01	1.54
20.04.2020	17.07	32.60	19.69	1.10
25.05.2020	16.36	33.30	18.76	1.40
29.06.2020	17.12	31.98	20.34	1.48
29.07.2020	16.36	27.45	18.40	1.23
31.08.2020	17.35	28.48	20.33	1.35
22.09.2020	16.37	35.73	19.73	1.72
30.10.2020	20.72	34.03	23.22	1.00
29.11.2020	18.39	32.55	19.44	0.93
31.12.2020	17.61	32.23	18.70	0.97
23.01.2021	16.74	30.01	17.65	0.91
27.02.2021	17.06	30.63	19.13	1.12
29.03.2021	17.69	31.55	19.79	1.12
30.04.2021	16.38	34.25	21.09	1.91
25.05.2021	16.93	33.81	21.89	1.91
29.06.2021	16.35	34.22	18.12	1.57
29.07.2021	16.35	33.96	17.76	1.59
28.08.2021	16.35	35.90	18.24	2.13

Çizelge 3’de verilen ortalama, en az ve en fazla değerlerine ait grafik şekil 10’da verilmektedir. Kış aylarında yüksek akım değerleri ile birlikte baraj rezervuarına sediment girişi de yüksek olmakta yaz aylarında ise stabil bir durumda kalmaktadır. 2020 yılı başında bölgede büyük taşkınlar yaşanmış, Seyhan ve Berdan Ovaları taşkın suları altında kalmıştır (Güvel vd., 2022). Yaşanan bu taşkınlardan dolayı rezervuara sediment girişi de yüksek olmuş, özellikle 2020 kış aylarındaki konsantrasyon değerlerinin 2021 kış aylarından daha yüksek olduğu görülmüştür (Şekil 10).

Uydu verileri ile bulunan sediment konsantrasyon değerlerinin yersel veriler ile karşılaştırılabilmesi için AGİ’lerden alınan örneklerdeki konsantrasyon değerleri kullanılmıştır. Bu değerlerin kullanılabilmesi için Körkün suyu ile Çakıt suyunun, Seyhan Baraj Gölünde birleştiği noktada sanal bir istasyon belirlenmiş olup sanal istasyonun yeri Şekil 11’de verilmiştir. İstasyonun yerinin sabit olması açısından baraj gölünün minimum su seviyesine ait olduğu gün dikkate alınarak seçilmiştir. Bu sanal istasyon sayesinde baraj gölünden TSS konsantrasyonu örneği alınmış gibi uydu verileri ile karşılaştırma yapılabilmektedir.

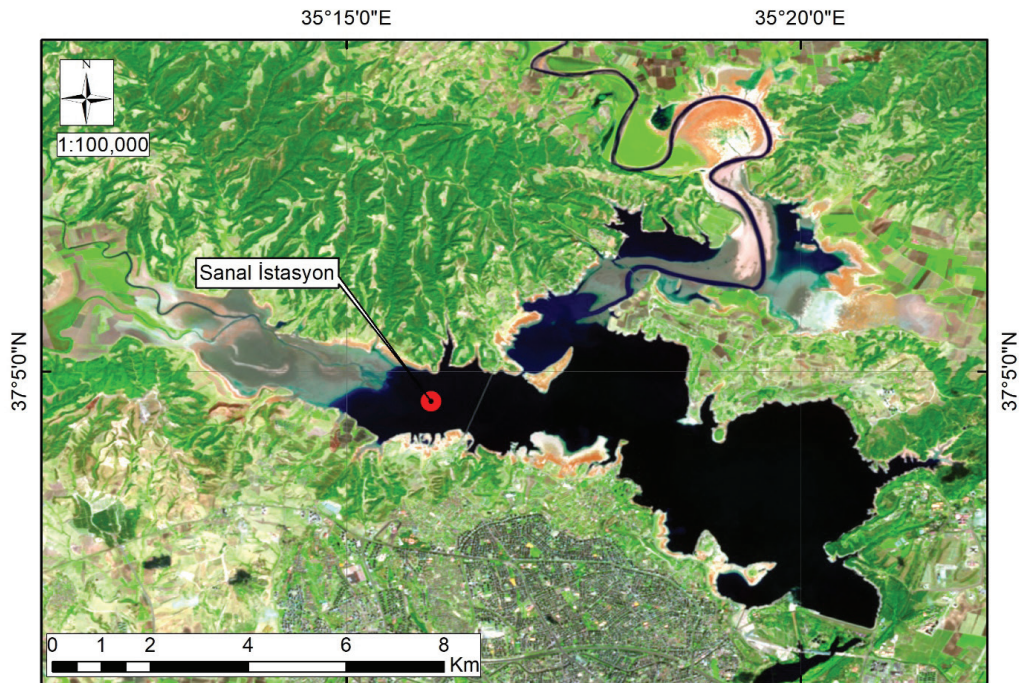
Baraj gölünde hesapla bulunan TSS değerleri ile E18A020 numaralı Körkün Suyunda bulunan Sediment İzleme İstasyonu (Sİİ) ile E18A028 numaralı Çakıt Suyunda bulunan Sİİ’den alınan veriler arasındaki korelasyon incelenmiştir. Pearson korelasyon katsayısı, ortalama hata, ortalama mutlak hata, Nash-Sutcliffe etkinlik katsayısı, yüzde sapması ve belirginlik katsayısı istatistikleri Çizelge 4’de verilmiştir.

İstatistiksel veriler incelendiğinde, 0.5’ten büyük r istatistik değerleri istatistiksel olarak kabul edilebilir olduğundan hem Sòria-Perpinyà vd. (2021) modelinin validasyonun hem de yeni modelin kalibrasyonun uygun olduğu görülmüştür. En iyi uyum için 0’a yaklaşması gereken ME ve MAE istatistik değerleri ve ayrıca NSE istatistikleri incelendiğinde en iyi sonucun Sòria-Perpinyà vd. (2021)’a ait olduğu görülmüştür. İdeal değeri 0 olan PB istatistikleri incelendiğinde de 0’a daha yakın olan Sòria-Perpinyà vd. (2021) daha uygun olsa da R^2 istatistiklerinde en iyi sonucun yeni modele ait olduğu görülmektedir. Sòria-Perpinyà vd. (2021) model parametreleri ile sanal istasyon değerleri arasındaki regresyon grafiği Şekil 12’de verilmektedir.



Şekil 10. Seyhan Baraj Gölü TSS değerleri zamansal değişimi.

Figure 10. Temporal variation of Seyhan Dam Lake TSS values.



Şekil 11. Sanal istasyonun konumu.

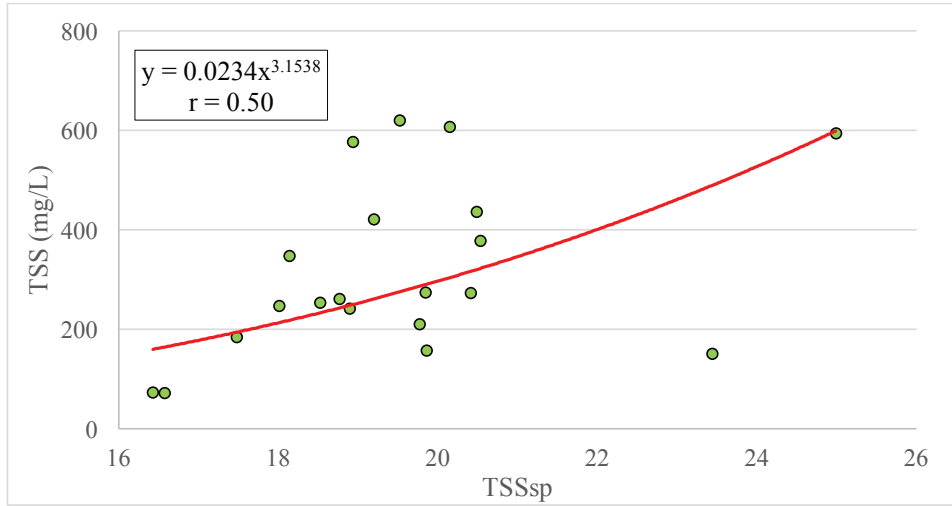
Figure 11. Location of the virtual station.

Akgül, Yurtal

Çizelge 4. İstatistiksel sonuçlar.

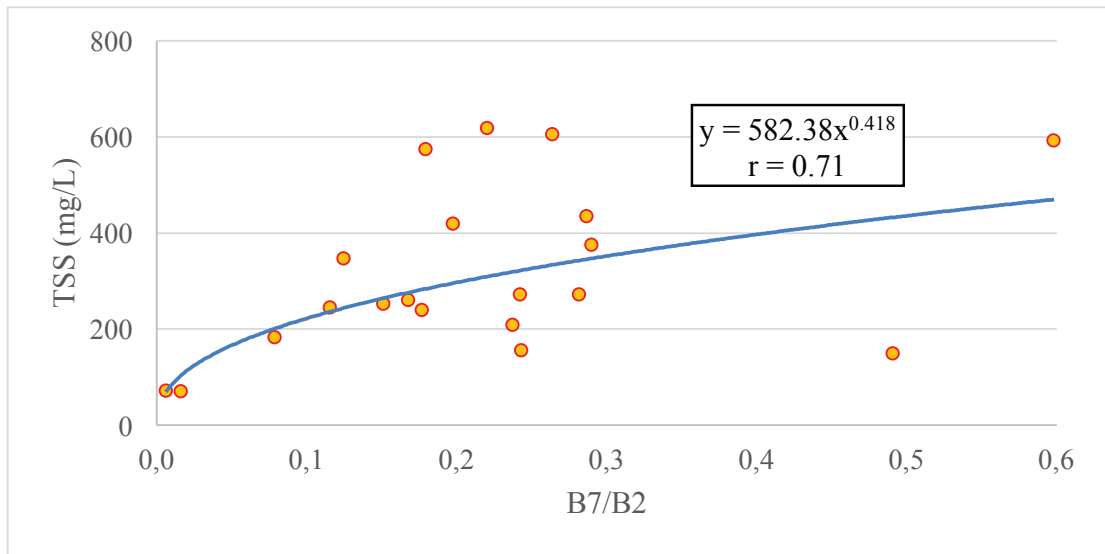
Table 4. Statistical results.

Model	r	ME	MAE	NSE	PB (%)	R ²
Sòria-Perpinyà vd. (2021)	0.50	-298.62	298.62	-3.10	-93.87	0.25
Yeni Model	0.71	-317.90	317.90	-3.52	-99.93	0.50



Şekil 12. Sòria-Perpinyà vd. (2021) validasyona ait regresyon grafiği.

Figure 12. Sòria-Perpinyà et al. (2021) regression plot of validation.



Şekil 13. Yeni model kalibrasyonuna ait regresyon grafiği.

Figure 13. Regression graph of the new model calibration.

Yeni modele ait regresyon grafiği Şekil 13'de verilmiş olup iki modele ait regresyon katsayıları Çizelge 5'da verilmektedir.

Çizelge 5. Modellerin regresyon katsayıları.

Table 5. Regression coefficients of the models.

Model	Regresyon katsayıları
Sòria-Perpinyà vd. (2021)	$y = 0.0234 * x^{3.1538}$
Yeni Model	$y = 582.38 * x^{0.418}$

$y =$ Gerçek değer, $x =$ Hesaplanan değer

SONUÇLAR

Özellikle büyük göllerde askıda sedimentin tespiti için numune alınması zaman, yüksek maliyet ve iş gücüne neden olmaktadır. Gözlem noktaları ile sedimenti izlemeye çalışmak, sedimentin başlangıç noktası, yayılım alanı ve miktarının tespit etmede yetersiz kalabilmektedir. Dünya üzerinde aynı noktadan tekrar geçiş süresi 2-3 gün olan Sentinel-2 vb. uydu verileri kullanılarak bulutluluk durumu da dikkate almak suretiyle her uydu görüntüsü için TSS dağılım haritaları üretilebilir. Gözlem noktaları ile bu sıklıkta harita üretmenin maliyeti bir yana uygulamada yapılabilirliği de çok zordur. Üretilen bu haritalar kullanılarak sedimentin yüksek olduğu yerlerde bunun sebeplerini ortadan kaldırmada karar vericilere yol gösterebilir. Çalışma sonucunda üretilen TSS dağılım haritalarının yersel çözünürlüğü 10 m olduğundan, 1 piksel 100 m²'ye tekabül etmekte olup uzaktan algılama analizleri sonucunda 100 m²'ye 1 veri üretilebilmektedir. Seyhan Baraj Gölünde uzaktan algılama tabanlı TSS izlenmesine yönelik kurulacak bir sisteme altlık olması açısından önceden bilinen uydu geçiş zamanlarında daha çok noktadan numune alınarak TSS parametrelerinin daha hassas belirlenmesi

mümkün olacaktır. Bu sayede maliyet, zaman ve iş gücünden tasarruf edileceği gibi belirli periyotlarla belirli noktalardan örnek alınarak TSS değerlerinin tespit edilmesi yerine tüm göl yüzeyine ait TSS değerleri tespit edilebilecektir.

KAYNAKLAR

- Akgül, M.A., & Dağdeviren, M., Ekmekçi, F., Kağncıoğlu, N., (2019). Köyceğiz Gölü Su Kalitesi Parametrelerinin Uzaktan Algılama İle Tahmin Edilmesi. 10. Ulusal Hidroloji Kongresi, 9-12 Ekim 2019, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla/TURKEY, Volume 2, P. 805-814.
- Bernstein, L.S., Adler-Golden, S.M., Sundberg, R.L., Levine, R.Y., Perkins, T.C., Berk, A., (2005). Validation of the QUick Atmospheric Correction (QUAC) algorithm for VNIR-SWIR multi- and hyperspectral imagery. SPIE, Proceedings, Algorithms and Technologies for Multispectral, Hyperspectral, and Ultraspectral Imagery XI. Vol. 5806, pp. 668-678. <https://doi.org/10.1117/12.603359>.
- Bresciani M., Cazzaniga I., Austoni M., Sforzi T., Buzzi F., Morabito G., Giardino C., (2018). "Mapping phytoplankton blooms in deep subalpine lakes from Sentinel-2A and Landsat-8.", *Hydrobiologia* <https://doi.org/10.1007/s10750-017-3462-2>.
- Canty, J.M., (2014). *Image Analysis, Classification and Change Detection in Remote Sensing, with Algorithms for ENVI/IDL and Python*, Third Edition. CRC Press.
- DSİ, (2014). *Seyhan Havzası Master Plan Raporu.*, 6.Bölge Müdürlüğü, Adana.
- ESA, (2015). *Sentinel-2 User Handbook*, ESA Standard Doc., 24/07/2015 Issue 1 Rev 2.
- ESRI, (2011). *ArcGIS Desktop: Release 10*. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.
- EOS, (2019). <https://eos.com/sentinel-2/>, Date of access: 17.11.2019.
- Gupta, H.V., Sorooshian S., and Yapo, P.O., (1999). *Status Of Automatic Calibration For Hydrologic*

- Models: Comparison with Multilevel Expert Calibration, *Journal of Hydrologic Engineering*, 4(2), 135-143. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1084-0699\(1999\)4:2\(135\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0699(1999)4:2(135))
- Güvel, Ş.P., Akgül, M.A., Aksu, H., (2022). Flood inundation maps using Sentinel-2: a case study in Berdan Plain. *Water Supply* 1 April 2022; 22 (4): 4098–4108. <https://doi.org/10.2166/ws.2022.039>.
- Huizingh, E., (2007). *Applied Statistics with SPSS*. SAGE Publications Ltd, London. <https://doi.org/10.4135/9781446249390>.
- Kabbara, N., Benkheil, J., Awad, M., Barale, V., (2008). “Monitoring water quality in the coastal area of Tripoli (Lebanon) using highresolution satellite data.”, *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 63, 488–495.
- Kontopoulou, E., Kolokoussis, P., Karantzalos K., (2017). “Water quality estimation in Greek lakes from Landsat 8 multispectral satellite data”, *European Water*, Vol.58, pp.191-196.
- Matthews, G.V.T., (1993). *The Ramsar Convention on Wetlands: Its History and Development* (Ramsar Convention Bureau).
- Nash, J.E., Sutcliffe, J.V., (1970). River Flow Forecasting through Conceptual Models 1. A Discussion of Principles. *Journal of Hydrology* 10(3), 282-290.
- Sentinel-2 Team, (2015). “The story of Sentinel-2”, *ESA Bulletin* 161. P:8.
- Shiklomanov, I., (1993). “World fresh water resources.”, In: P.H. Gleick, editor. *Water in crisis: A guide to the world’s fresh water resources*. Oxford Univ. Press, New York.
- Sòria-Perpinyà, X., Vicente, E., Urrego, P., Pereira-Sandoval, M., Tenjo, C., Ruiz-Verdú, A., Delegido, J., Soria, J.M., Peña, R., Moreno, J., (2021). Validation of water quality monitoring algorithms for sentinel-2 and sentinel-3 in mediterranean inland waters with in situ reflectance data. *Water (Switzerland)* 13. <https://doi.org/10.3390/w13050686>.
- Ticman, Kristina Di V., Medina Jommer M., Gubatanga Jr. Edgardo V., Jalbuena Rey L., Santos Justin Ace S., Ana Raymund Rhommel C. Sta., Blanco Ariel C., (2018). “Assessment of Landsat 8-Based Indices for Water Quality Parameter Estimation in Laguna De Bay, Philippines”, 39th Asian Conference on Remote Sensing (ACRS 2018).
- Vanhellemont, Q., Ruddick, K., (2016). “ACOLITE processing for Sentinel-2 and Landsat-8: atmospheric correction and aquatic applications extended abstract submitted for the 2016 Ocean Optics Conference”, to be held in Victoria, BC, Canada, 23-28 October 2016.
- Van Liew, M.W., Arnold, J.G., and Garbrecht, J.D., (2003). Hydrologic simulation on agricultural watersheds: Choosing between two models. *Trans. ASAE* 46(6): 1539-1551.
- Zhan, Y., Delegido, J., Erena, M., Soria, J.M., Ruiz-Verdú, A., Urrego, P., Sòria-Perpinyà, X., Vicente, E., Moreno, J., (2022). Mar Menor lagoon (SE Spain) chlorophyll-a and turbidity estimation with Sentinel-2. *Limnetica* 41, 1. <https://doi.org/10.23818/limn.41.18>.